

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-312185

(P2000-312185A)

(43)公開日 平成12年11月7日(2000.11.7)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

J 5 F 0 7 2

10/16

H 0 1 S 3/10

Z 5 K 0 0 2

H 0 1 S 3/10

H 0 4 B 9/00

E

H 0 4 J 14/00

H

14/02

審査請求 有 請求項の数36 OL (全 18 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平11-122013

(22)出願日

平成11年4月28日(1999.4.28)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 竹花 史

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100082935

弁理士 京本 直樹 (外2名)

Fターム(参考) 5F072 AB09 AB13 AK06 HH02 HH03

JJ05 JJ20 KK07 KK30 MM01

RR01 YY17

5K002 AA06 BA05 CA10 CA13 DA02

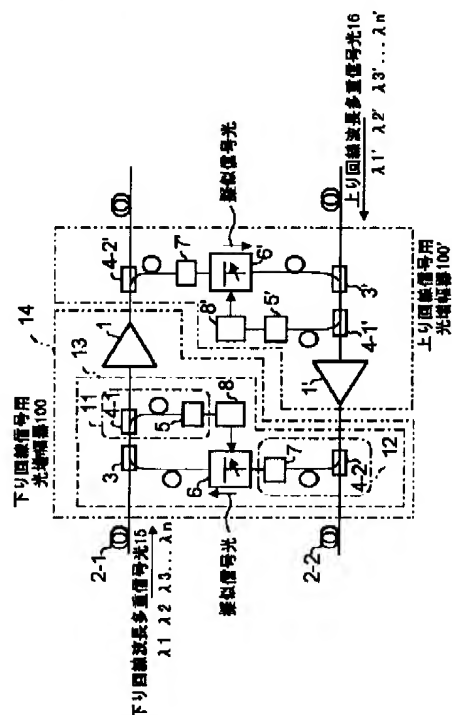
DA09 FA01

(54)【発明の名称】 波長多重光伝送用光中継増幅器およびこれを用いた波長多重光伝送装置

(57)【要約】

【課題】 波長多重された信号光のうちある信号光が断状態になったりレベル変動しても、光増幅器の入力レベルを一定に保ち適切に光増幅されるようにする。

【解決手段】 双方向波長多重光伝送において、波長多重信号光を光増幅する光増幅器と、その光出力レベルを一定に制御する光出力制御回路とを備えており、一方の光増幅器に入力される光入力レベルを検出し所定の値からレベル変動した場合には、相手方の光増幅器から出力される増幅信号光の一部を分岐して所定の光入力レベルになるようにレベル調整した上で入力光に合波してもとの光レベルになるようにする。所定の光入力レベルは、各信号光が光増幅器によって光増幅されるときにの利得が予め定められた利得になるように設定されている。特に光増幅器の利得の波長依存性がないような利得に選定することによりレベル変動しても各信号光のレベルを均一化し安定した光増幅を行うことができるようになる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに異なる波長の第1の信号光が波長多重された第1の波長多重信号光を光増幅して第1の増幅波長多重信号光を出力する第1の光増幅器と、前記第1の増幅波長多重信号光をあらかじめ定められた値の光出力レベル（以下「第1の所定の光出力レベル」という。）に制御する第1の光出力制御回路と、第2の信号光を光増幅して第2の増幅信号光を出力する第2の光増幅器とを備えた波長多重光伝送用光中継増幅器であって、前記第1の光増幅器は、前記第1の波長多重信号光の光入力レベル（以下「第1の光入力レベル」という。）を検出し、前記第1の光増幅器に入力される光のレベルがあらかじめ定められた値（以下「第1の所定の光入力レベル」という。）になるように制御する第1の光入力レベル安定化回路を備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項2】 前記第1の所定の光入力レベルは、前記第1の所定の光出力レベルを得るために必要な前記第1の光増幅器の利得があらかじめ定められた利得になるように設定されていることを特徴とする請求項1記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項3】 前記第1の所定の光出力レベルは、前記波長多重信号光に含まれる信号光に基づいて定められていることを特徴とする請求項1または請求項2記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項4】 前記第1の光入力レベル安定化回路は、前記第1の光入力レベルを検出する第1の光入力レベル検出回路と、前記第2の増幅波長多重信号光の一部を分岐して第1の疑似信号光を出力する第1の増幅光分岐器と、前記第1の疑似信号光を前記第1の波長多重信号光に合波して第1のレベル制御後波長多重信号光を出力する第1の分岐増幅光合波器とを備えていることを特徴とする請求項1から請求項3までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項5】 前記第1の光入力レベル安定化回路は、前記第1の波長多重信号光の一部を分岐して第1の分岐波長多重信号光を出力する第1の入力光分岐器と、前記第1の分岐波長多重信号光を受光して第1の光入力レベル制御信号を出力する第1の受光器とを備えていることを特徴とする請求項1から請求項4までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項6】 前記第2の信号光の波長は、前記第1の波長多重信号光に含まれるいずれの信号光の波長とも異なることを特徴とする請求項1から請求項5までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項7】 前記第1の増幅光分岐器は、前記第2の信号光に含まれる自然放出光のうち、前記第

1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光のみを分岐して前記第1の疑似信号光を出力することを特徴とする請求項4から請求項6のいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項8】 前記第1の増幅光分岐器は、前記第2の増幅信号光に含まれる自然放出光のうち、前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射し、前記第2の信号光を通過させる第1の光フィルタを有していることを特徴とする請求項7記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項9】 前記第1の増幅光分岐器は、前記第2の増幅信号光を伝送路に出力するとともに、前記第2の信号光に含まれる自然放出光のうち前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射する第1のファイバグレーティングと、前記第2の光増幅器と前記第1のファイバグレーティングの間に配置され、前記第2の増幅信号光を前記第1のファイバグレーティングに通過させるとともに、前記第1のファイバグレーティングによって反射された光を前記疑似信号光として分岐増幅光合波器に出力する第1の光サーキュレータとを備えていることを特徴とする請求項7記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項10】 前記第1の増幅光分岐器は、前記第2の増幅波長多重信号光に対する前記第1の疑似信号光の分岐比率を制御可能な光分岐器であって、前記第1の光入力レベル安定化回路は、前記第1の光入力レベル制御信号を受けて前記第1の疑似信号光の分岐比率を制御する第1の分岐比率制御回路を備えていることを特徴とする請求項5から請求項8までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項11】 前記第1の光入力レベル安定化回路は、さらに、前記第1の疑似信号光の減衰量を制御する第1の可変光減衰器と、前記第1の光入力レベル制御信号を受けて前記第1の疑似信号光の減衰量を制御する第1の減衰量制御回路とを備えていることを特徴とする請求項5から請求項9までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項12】 前記第1の可変光減衰器は、前記第2の信号光の波長の近傍に通過波長帯域を有し、前記通過波長帯域の中心波長が前記第1の光入力レベル制御信号により可変であることを特徴とする請求項11記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項13】 前記第1の光入力レベル安定化回路は、さらに、

## 3

前記第1の疑似信号光から前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長と同じ波長の光を除去する出力する第1の光フィルタを備えていることを特徴とする請求項3から請求項12のいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項14】 請求項3から請求項13までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器であって、さらに、

前記第1の増幅波長多重信号光から前記第1の疑似信号光と同じ波長の光を除去する第1の疑似信号光除去フィルタを備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項15】 前記第1の疑似信号光除去フィルタは、

前記第1の光増幅器の出力端に配置されていることを特徴とする請求項14記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項16】 請求項1から請求項15までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光増幅器であって、

前記第2の信号光は互いに異なる波長の第2の信号光が波長多重された第2の波長多重信号光であり、

前記第2の光増幅器は前記第2の波長多重信号光を光増幅して第2の増幅波長多重信号光を出力する光増幅器であって、

前記第2の光増幅器は、

前記第2の波長多重信号光の光入力レベル（以下「第2の光入力レベル」という。）を検出し、前記第2の光増幅器に入力される光のレベルがあらかじめ定められた値（以下「第2の所定の光入力レベル」という。）になるように制御する第2の入力レベル安定化回路を備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項17】 前記第2の所定の光入力レベルは、前記第2の所定の光出力レベルを得るために必要な前記第2の光増幅器の利得があらかじめ定められた利得になるように設定されていることを特徴とする請求項16記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項18】 前記第2の所定の光出力レベルは、前記波長多重信号光に含まれる信号光に基づいて定められていることを特徴とする請求項16または請求項17記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項19】 前記第2の光入力レベル安定化回路は、

前記第2の光入力レベルを検出する第2の光入力レベル検出回路と、

前記第1の増幅波長多重信号光の一部を分岐して第2の疑似信号光を出力する第2の増幅光分岐器と、

前記第2の疑似信号光を前記第2の波長多重信号光に合波して第2のレベル制御後波長多重信号光を出力する第2の分岐増幅光合波器とを備えていることを特徴とする

## 4

請求項16から請求項18までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項20】 前記第2の光入力レベル検出回路は、前記第1の波長多重信号光の一部を分岐して第1の分岐波長多重信号光を出力する第1の入力光分岐器と、前記第1の分岐波長多重信号光を受光して第1の光入力レベル制御信号を出力する第1の受光器とを備えていることを特徴とする請求項16から請求項19までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項21】 前記第2の波長多重信号光に含まれる各信号光の波長は、前記第1の波長多重信号光に含まれるいずれの信号光の波長とも異なることを特徴とする請求項16から請求項20までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項22】 前記第2の増幅光分岐器は、前記第1の波長多重信号光に含まれる自然放出光のうち、前記第2の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長のいずれとも相違する波長の光のみを分岐して前記第2の疑似信号光を出力することを特徴とする請求項19から請求項21のいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項23】 前記第2の増幅光分岐器は、前記第1の増幅信号光に含まれる自然放出光のうち、前記第2の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射し、前記第1の波長多重信号光を通過させる第2の光フィルタを有していることを特徴とする請求項22記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項24】 前記第2の増幅光分岐器は、前記第1の増幅信号光を伝送路に出力するとともに、前記第1の波長多重信号光に含まれる自然放出光のうち前記第2の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射する第2のファイバグレーティングと、

前記第2の光増幅器と前記第2のファイバグレーティングの間に配置され、前記第1の増幅信号光を前記第2のファイバグレーティングに通過させるとともに、前記第2のファイバグレーティングによって反射された光を前記疑似信号光として分岐増幅光合波器に出力する第2の光サーキュレータとを備えていることを特徴とする請求項22記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項25】 前記第2の増幅光分岐器は、前記第1の増幅波長多重信号光に対する前記第2の疑似信号光の分岐比率を制御可能な光分岐器であって、前記第2の光入力レベル安定化回路は、前記第2の光入力レベル制御信号を受けて前記第2の疑似信号光の分岐比率を制御する第2の分岐比率制御回路

を備えていることを特徴とする請求項 20 から請求項 23 までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項 26】 前記第 2 の光入力レベル安定化回路は、さらに、  
前記第 2 の疑似信号光の減衰量を制御する第 2 の可変光減衰器と、  
前記第 2 の光入力レベル制御信号を受けて前記第 2 の疑似信号光の減衰量を制御する第 2 の減衰量制御回路とを備えていることを特徴とする請求項 20 から請求項 24

までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。  
【請求項 27】 前記第 2 の可変光減衰器は、  
前記第 1 の波長多重信号光の波長の近傍に通過波長帯域を有し、  
前記通過波長帯域の中心波長が前記第 2 の光入力レベル制御信号により可変であることを特徴とする請求項 26

記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。  
【請求項 28】 前記第 1 の光入力レベル安定化回路は、さらに、  
前記第 1 の疑似信号光から前記第 1 の波長多重信号光に含まれる信号光の波長と同じ波長の光を除去する出力する第 1 の光フィルタを備えていることを特徴とする請求項 18 から請求項 27 のいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項 29】 請求項 18 から請求項 28 までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器であって、さらに、  
前記第 2 の増幅波長多重信号光から前記第 2 の疑似信号光と同じ波長の光を除去する第 2 の疑似信号光除去フィルタを備えていることを特徴とする波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項 30】 前記第 2 の疑似信号光除去フィルタは、  
前記第 2 の光増幅器の出力端に配置されていることを特徴とする請求項 29 記載の波長多重光伝送用光中継増幅器。

【請求項 31】 前記第 1 の波長多重信号光を第 1 の伝送路に送出する第 1 の送信器と、第 2 の伝送路からの信号光を受信する第 1 の受信器とを備えた第 1 の端局と、  
前記第 2 の信号光を前記第 2 の伝送路に送出する第 2 の送信器と、前記第 1 の伝送路からの前記第 1 の波長多重信号光を受信する第 2 の受信器とを備えた第 2 の端局と、

前記第 1 の端局と前記第 2 の端局の間に配置され前記第 1 の波長多重信号光から波長を特定して選択的に前記信号光を分離する第 1 の信号光分離回路と、前記第 1 の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して前記第 1 の伝送路に送出する第 1 の信号光挿入回路とを含む信号光挿入分離ノードとを備えた波長多重光伝送装置であつ

て、

前記第 1 の端局と前記第 2 の端局の間に、請求項 1 から請求項 15 までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器が配置されていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項 32】 前記第 2 の受信器の前段に配置され、前記第 1 の疑似信号光の波長の光を除去する第 1 の疑似信号光除去フィルタを備えていることを特徴とする請求項 31 記載の波長多重光伝送装置。

10 【請求項 33】 前記第 1 の波長多重信号光を送出する第 1 の伝送路に第 1 の送信器と、第 2 の伝送路からの第 2 の波長多重信号光を受信する第 1 の受信器とを備えた第 1 の端局と、

前記第 2 の波長多重信号光を前記第 2 の伝送路に送出する第 2 の送信器と、前記第 1 の伝送路からの前記第 1 の波長多重信号光を受信する第 2 の受信器とを備えた第 2 の端局と、

前記第 1 の端局と前記第 2 の端局の間に配置され、  
前記第 1 の波長多重信号光から波長を特定して選択的に前記信号光を分離する第 1 の信号光分離回路と、前記第 1 の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第 1 の信号光挿入回路と、前記第 2 の波長多重信号光から波長を特定して選択的に前記信号光を分離する第 2 の信号光分離回路と、前記第 2 の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第 2 の信号光挿入回路とを含む信号光挿入分離ノードとを備えた波長多重光伝送装置であって、

前記第 1 の端局と前記第 2 の端局の間に、請求項 16 から請求項 30 までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器が配置されていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項 34】 前記第 2 の受信器の前段に配置され、前記第 1 の疑似信号光の波長の光を除去する第 1 の疑似信号光除去フィルタと、

前記第 1 の受信器の前段に配置され、前記第 2 の疑似信号光の波長の光を除去する第 2 の疑似信号光除去フィルタとを備えていることを特徴とする請求項 33 記載の波長多重光伝送装置。

【請求項 35】 前記第 1 の波長多重信号光を第 1 の伝送路に送出する第 1 の送信器と、前記第 2 の波長多重信号光を第 2 の伝送路に送出する第 2 の送信器と、第 2 の伝送路からの波長多重信号光を受信する第 1 の受信器と、信号光を受信する第 2 の受信器とを備えたセンターノードと、

前記第 1 の伝送路と前記第 2 の伝送路により前記センターノードに接続され、前記第 1 の波長多重信号光から波長を特定して選択的に前記信号光を分離する第 1 の信号光分離回路と、前記第 1 の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第 1 の信号光挿入回路と、  
前記第 2 の波長多重信号光から波長を特定して選択的に

前記信号光を分離する第2の信号光分離回路と、前記第2の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第2の信号光挿入回路とを含む少なくとも一つの信号光挿入分離ノードとを備えた波長多重光伝送装置であって、

前記センターノードと前記信号光挿入分離ノードとの間、または前記信号光挿入分離ノード間に、請求項16から請求項30までのいずれかの請求項に記載の波長多重光伝送用光中継増幅器が配置されていることを特徴とする波長多重光伝送装置。

【請求項36】 前記第2の受信器の前段に配置され、前記第1の疑似信号光の波長の光を除去する第1の疑似信号光除去フィルタと、  
前記第1の受信器の前段に配置され、前記第2の疑似信号光の波長の光を除去する第2の疑似信号光除去フィルタとを備えていることを特徴とする請求項35記載の波長多重光伝送装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器は、互いに異なる波長の複数の信号光が波長多重された波長多重光伝送において用いられる光中継増幅器に関する発明である。また、この光中継増幅器が光送信器と光受信器の間に配置された光伝送装置に関する。

【0002】

【従来の技術】波長の異なる複数の信号光が1本のファイバに波長多重化された波長多重信号光を光増幅器により一括して光増幅する波長多重(WDM)光伝送技術は、長距離・大容量伝送システム構築のために欠くことのできない技術であり、近年、研究が盛んに行われている。特に、分岐・挿入ノード(Add/Drop Multiplexer:以下「ADMノード」という。)を備えた波長多重光伝送装置は、線形中継の途中の波長多重信号光から特定(または任意)の波長信号を自ノードに取り込んだり、自ノードより特定(取り込んだ信号)または空き波長の信号をWDM信号に再多重することができるため、柔軟な光波ネットワーク構築手段としての期待が大きい。

【0003】このようなADMノードを備えた波長多重光伝送装置1対向の構成例を図16に示す。なお、理解を容易にするために、同図では端局Aと端局Bの間には一つのADMノードしか配置されていないが、通常は複数のADMノードが配置されている。

【0004】図16に示される波長多重光伝送装置は、端局A20-1と端局B20-2との間を結ぶ光伝送路の途中にADMノード23が配置されたものであり、端局A20-1とADMノード23間およびADMノード23と端局B20-2間は、それぞれnおよびm個(n, mは整数)の光増幅器によって線形中継される。

ここで、端局A20-1から端局B20-2へ信号光が伝送される回線を下り回線、端局B20-2から端局A20-1へ信号光が伝送される回線を上り回線と定義することとする。

【0005】図16の下り回線において、端局A20-1の信号光送信部21-1は、波長の異なる信号光 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ を波長多重し、光中継増幅器1により光増幅した後、光伝送路2に送出する。端局A20-1から送出された波長多重信号光は、所定のスパンをおいて配置されたn個の光中継増幅器1により、光伝送路を伝播する間に失われた光出力レベルの低下を補償しながら、ADMノードおよび端局B方向へと伝送される。

【0006】ADMノード23では、端局Aより伝送された波長多重信号光のうちADMノードに割り当てられた波長 $\lambda_i$ のみを取出し受信するが、それ以外の波長信号(以下、ADMノードを通過する波長多重信号光を「ADMノード通過信号光」という。)は、そのままADMノードを通過させ、下流にある端局Bへ送出される。また、ADMノードでは、ADMノード一端局B間に割り当てられた波長 $\lambda_{ia}$ (add信号光)がADMノード通過信号光に波長多重されることにより加えられ(以下、このようにしてADM通過信号光に波長多重される信号光を「挿入信号光」という。)、ADMノード一端局B間の光伝送が行われる。なお、上り回線についても、下り回線と同様、逆方向に信号光が光伝送される。

【0007】このように、ADMノードを備えた波長多重光伝送装置は、中継器において電気信号に変換することなく、特定(または任意)の波長信号をADMノードにて分岐・挿入することが可能であるため、トランスパレントで柔軟な光波ネットワークを構築することが可能となる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の波長多重光伝送装置においては、ある区間の伝送路の破断や端局の信号光送信部の故障など、波長多重信号のうちの幾つかの信号光が突如欠落した場合、正常動作している信号光のレベル変動を引き起こすため、伝送信号の品質に劣化を生ずるという問題がある。

【0009】上記問題に関し、例えば、端局A-ADMノード間(区間A)の伝送路に破断が生じた場合(図17参照)、ADMノード一端局B間(区間B)に存在する信号波長 $\lambda_i$ の動作について、図18および図19を参照して説明する。

【0010】図16に示される構成において、区間Bに着目した場合、区間A破断前、区間BにはADMノードで分離された波長 $\lambda_i$ を除くn-1個の端局Aの信号光と、ADMノードで挿入された波長 $\lambda_{ia}$ の信号光計n個の信号波長が線形中継されているが、区間A破断により(図17参照)端局Aの信号波長が欠落し、区間Bに

はADMノードからの信号波長 $\lambda_{ia}$ のみが存在することになる。

【0011】光増幅器に光出力一定制御の光増幅器を使用している場合において、図18に示されるように、いま区間Bの信号波長が突然 $n$ 個（ここでは、 $n=4$ ）から1個に変化すると、図19に示されるように、光増幅器の1波長あたりの出力は所望のレベル以上の出力となる。例えば、 $n=4$ である場合、元の4波長から波長数が $1/4$ になるわけであるから残された1波の光出力は約6dB上昇することになる。そうすると、この光出力レベルの上昇によって伝送路中で生じる非線形効果などの影響により、信号光の品質が劣化する可能性が生じる。

【0012】従来の波長多重光伝送装置では、回線設計のし易さ、光増幅器の制御のし易さ等の理由から、光中継増幅器として光出力一定制御の光増幅器が用いられている場合が多く、上記現象が問題となり伝送品質を劣化させる可能性は高い。また、光出力一定制御された光増幅器の利得平坦性（利得の波長特性）には、光入力レベルにも依存するため、入力レベルの変動は利得平坦性に関しても劣化を引き起こすという問題もある。利得平坦性の劣化は、信号レベル間のばらつきを引き起こす原因となる。

【0013】上述したことから、光入力レベルの大きい信号光は伝送路で生じる非線形光学効果による特性劣化を、光入力レベルの小さな信号光はS/N劣化による特性劣化を生じさせることになる。

【0014】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器及び光伝送装置は、波長多重光伝送装置において用いられている複数の信号光のうち、幾つかの信号光が突然断状態になるようなレベル変動が生じた場合にでも特性劣化が生じないようにすることを目的とする。また、波長多重信号光の光入力レベルに変動が生じた場合でも、光増幅器の利得の変化による利得の波長依存性の変化が生じないようにし利得の平坦度が維持されるようにすることを目的とする。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器は、上記問題を解決するために、互いに異なる波長の第1の信号光が波長多重された第1の波長多重信号光を光増幅して第1の増幅波長多重信号光を出力する第1の光増幅器と、第1の増幅波長多重信号光をあらかじめ定められた値の光出力レベルに制御する第1の光出力制御回路と、第1の波長多重信号光と逆方向に進行する第2の信号光を光増幅して第2の増幅信号光を出力する第2の光増幅器とを備えていることを基本とする。そして、第1の光増幅器は、第1の波長多重信号光の光入力レベル（以下「第1の光入力レベル」という。）を検出し、第1の光増幅器に入力される光のレベルがあらかじめ定められた値（以下「第1の所定の光入

力レベル」という。）になるように制御する第1の入力レベル安定化回路を備えていることを特徴としている。なお、上記光増幅器は、エルビウムドープ光ファイバなどのような希土類元素が添加された光ファイバを増幅媒体とした光ファイバ増幅器であってもよいし、また半導体光増幅器であってもよい。

【0016】上記構成において、第1の所定の光入力レベルは、第1の各信号光が第1の光増幅器によって光増幅されるときに利得があらかじめ定められた利得になるように設定されていることを特徴としている。ここにいうあらかじめ定められた値の利得は、光増幅器の利得の波長依存性がないような利得が選定されるようにする。このような利得が維持されるように光入力レベルを制御することにより、光増幅器自体の利得の波長依存性を低減させることができるので、増幅後の波長多重信号光に含まれる各信号光の相対的なレベルを維持することができ、均一化することができるようになる。また、当該光中継増幅器の前段において、伝送路やADMノードの障害等に起因して信号光の数に変化が生じた場合にでも適切な利得を維持することができる。

【0017】上述した構成において、第1の入力レベル安定化回路は、第1の光入力レベルを検出する第1の光入力レベル検出回路と、第2の増幅波長多重信号光の一部を分岐して第1の疑似信号光を出力する第1の増幅光分岐器と、第1の疑似信号光を第1の波長多重信号光に合波して第1のレベル制御後波長多重信号光を出力する第1の分岐増幅光合波器とを備えていることを特徴としている。また、第1の光入力レベル検出回路は、第1の波長多重信号光の一部を分岐して第1の分岐波長多重信号光を出力する第1の入力光分岐器と、第1の分岐波長多重信号光を受光して第1の光入力レベル制御信号を出力する第1の受光器とを備えていることを特徴としている。

【0018】また、第2の信号光の波長は、第1の波長多重信号光に含まれるいずれの信号光の波長とも異なることを特徴としている。すなわち、あらかじめ上下回線で用いられる信号光の波長を互いに異なるものとし、第2の信号光の一部が分岐された光を疑似信号光とした場合にも第1の波長多重信号光に合波できるようにし、また、疑似信号光が本来の信号光に合波されたことによる雑音の発生を抑制することができる。なお、この疑似信号光は光増幅器で光増幅された後は、光増幅器の後段または上り回線（相手方回線）への疑似信号光とするための光分岐器の後段に疑似信号光を除去する光フィルタ（以下「疑似信号光除去フィルタ」という。）を配置することにより、雑音となることを防ぐことができる。

【0019】前者の場合には、後段に配置される光中継増幅器において疑似信号光を改めて合波して光入力レベルを補償する必要がなくなるという点で優れている。なお、最終の受信端局における受光器の前段に疑似信号光



除去フィルタを配置してもよい。一方、後者の場合、すなわち光増幅器の直後に疑似信号光除去フィルタを配置した場合には、より正確な光出力制御が可能になり、また当該光中継増幅器の後段に配置される光中継増幅器に疑似信号光が送出されることもない。

【0020】上記は、第1の波長多重信号光と第2の信号光の波長は互いに相違することを前提としたが、同じ波長である場合にも本発明の光中継増幅器を適用することができる。この場合、増幅後の第2の信号光に含まれる自然放出光の一部を分離してこれを疑似信号光とする10ことを特徴としている。具体的には、第2の信号光を分岐する第1の増幅光分岐器は、第2の信号光に含まれる自然放出光のうち第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光のみを分岐して第1の疑似信号光を出力することを特徴としている。あるいは、第1の増幅光分岐器は、第2の増幅信号光に含まれる自然放出光のうち第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射し、第2の信号光を通過させる第1の光フィルタを有している20ことを特徴としている。第1の増幅光分岐器のさらに別の構成として、第2の増幅信号光を伝送路に出力するとともに第2の信号光に含まれる自然放出光のうち第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長および前記第2の信号光の波長のいずれとも相違する波長の光を反射する第1のファイバグレーティングと、第2の光増幅器と第1のファイバグレーティングの間に配置され第2の増幅信号光を第1のファイバグレーティングに通過させるとともに、第1のファイバグレーティングによって反30射された光を疑似信号光として分岐増幅光合波器に出力する第1の光サーキュレータとにより構成することもできる。この場合、ファイバグレーティングを用いているので、より狭波長帯域の疑似信号を用いることができる。

【0021】本発明の光入力レベル安定化回路は、疑似信号光と波長多重信号光の合波後の光入力レベルが所定の値になるように制御されるが、制御手段には下記のような構成を採りうる。すなわち、第1の増幅光分岐器が第2の増幅波長多重信号光に対する第1の疑似信号光の分岐比率を制御可能な光分岐器であって、第1の光入力35レベル安定化回路が第1の光入力レベル制御信号を受けて第1の疑似信号光の分岐比率を制御する第1の分岐比率制御回路を備えることにより上記構成を実現することができる。あるいは、第1の光入力レベル安定化回路は、さらに、第1の疑似信号光の減衰量を制御する第1の可変光減衰器と、第1の光入力レベル制御信号を受けて第1の疑似信号光の減衰量を制御する第1の減衰量制御回路とを備えるようにしてもよい。さらに、第1の可変光減衰器は、第2の信号光の波長の近傍に通過波長帯域を有し、通過波長帯域の中心波長が第1の光入力レベ40

ル制御信号により可変であるようにしてもよい。

【0022】上記構成において、第1の光入力レベル安定化回路にさらに、第1の疑似信号光から第1の波長多重信号光に含まれる信号光の波長と同じ波長の光を除去する出力する第1の光フィルタを配置し、波長多重信号光と同じ波長の光が合波されないようにして雑音の発生を抑制することができる。

【0023】上記構成は、一方向、例えば下り回線の波長多重信号光のみが光入力レベル調整により回線障害による光入力レベルの低下を補い、あるいは基準利得を維持して利得の波長依存性が変動することを防ぐものであるが、双方向にこれを適用することができることはいくまでもない。すなわち、上記構成において、第2の信号光も、互いに異なる波長の第2の信号光が波長多重され第1の波長多重信号光と逆方向に進行する第2の波長多重信号光であり、第2の光増幅器も、第2の波長多重信号光の光入力レベル（以下「第2の光入力レベル」という。）を検出し、第2の光増幅器に入力される光のレベルがあらかじめ定められた値（以下「第2の所定の光入力レベル」という。）になるように制御する第2の入力45レベル安定化回路を備えるようにしてもよい。ここでも、第2の所定の光入力レベルが、各信号光が第2の光増幅器によって光増幅されるときに利得があらかじめ定められた利得になるように設定されるようにすることで、利得の波長依存性が変化するのを防ぎ、また信号光の数の変化にも対応することができる。

【0024】本発明の波長多重光伝送装置は、上述した本発明の光中継増幅器を用いたものであって、第1の波長多重信号光を送出する第1の送信器と、信号光を受信する第1の受信器とを備えた第1の端局と、第2の信号光を送出する第2の送信器と、信号光を受信する第2の受信器とを備えた第2の端局と、第1の端局と第2の端局の間に配置され第1の波長多重信号光から波長を特定して選択的に信号光を分離する第1の信号光分離回路と、第1の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第1の信号光挿入回路とを含む信号光挿入分離ノードとを備えた波長多重光伝送装置であることを前提としている。

【0025】そして、第1の端局と第2の端局の間に、上述した本発明の光中継増幅器が配置されていることを特徴としている。信号光挿入分離回路は、第1の信号光のみならず、第2の波長多重信号光から波長を特定して選択的に信号光を分離する第2の信号光分離回路と、第2の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第2の信号光挿入回路とを含む信号光挿入分離ノードを備えることもできる。

【0026】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器は、センターノードとADMノードがリング状に接続されたリング構成の光伝送装置にも適用することができる。すなわち、本発明の光伝送装置は、第1の波長多重50

信号光を第1の伝送路に送出する第1の送信器と第2の波長多重信号光を第2の伝送路に送出する第2の送信器と、第2の伝送路からの波長多重信号光を受信する第1の受信器と信号光を受信する第2の受信器とを備えたセンターノードと、第1の伝送路と第2の伝送路によりセンターノードに接続され第1の波長多重信号光から波長を特定して選択的に信号光を分離する第1の信号光分離回路と第1の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第1の信号光挿入回路と第2の波長多重信号光から波長を特定して選択的に信号光を分離する第2の信号光分離回路と第2の波長多重信号光に特定の波長の信号光を合波して送出する第2の信号光挿入回路とを含む少なくとも一つの信号光挿入分離ノードとを基本構成として備えている。そして、センターノードと信号光挿入分離ノードとの間、または信号光挿入分離ノード間に、上述した波長多重光伝送用光中継増幅器が配置されていることを特徴としている。この場合にも、第2の受信器の前段に第1の疑似信号光の波長の光を除去するために第1の疑似信号光除去フィルタを、第1の受信器の前段に第2の疑似信号光の波長の光を除去する第2の疑似信号光除去フィルタをそれぞれ配置することができる。

#### 【0027】

【発明の実施の形態】本発明の光中継増幅器は、ADMノードなどへの適用を予定しており、互いに異なる波長の複数の信号光（信号光波長 $\lambda_n$ ： $n=1\sim n$ 、 $n$ は1または2以上の自然数）が波長多重された波長多重信号光が入力され、線形中継光伝送を行う波長多重（WDM）伝送装置に用いられるものである。また、本発明の光中継増幅器は、単一または複数の光伝送路（上下回線）により、双方向に信号光が伝送される双方向波長多重光伝送に用いられているものである。

【0028】本発明の光中継増幅器は、基本的には、双方向波長多重光伝送において、波長多重信号光を光増幅する光増幅器と、その光出力レベルを一定に制御する光出力制御回路とを備えており、一方の光増幅器に入力される光入力レベルを検出し所定の値からレベル変動した場合には、相手方の光増幅器から出力される増幅信号光の一部を分岐して所定の光入力レベルになるようにレベル調整した上で入力光に合波してもとの光レベルになるようにすることを特徴としている。所定の光入力レベルは、各信号光が光増幅器によって光増幅されるときに利得が予め定められた利得になるように設定されており、特に、光増幅器の利得の波長依存性がないような利得に選定することによりレベル変動しても各信号光のレベルを均一化し安定した光増幅を行うことができるというものである。また、波長多重された信号光のうちある信号光だけが突然断状態になっても、光入力レベルが補償されるので、残りの信号光に異常な利得がかからないようにすることができる。

【0029】本発明の光中継増幅器は、上述したように、相手方の増幅された信号光の一部を用いることにより光入力レベルを調整するものであるが、双方向光伝送において、一方にのみこの構成を適用してもよいし、双方向光伝送の双方にこの構成を用いることもできることはいうまでもない。以下、本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器とこれを用いた光伝送装置について図面を参照して以下に詳細に説明するが、いずれも双方に本発明の上記構成を適用した場合について説明する。

10 【0030】図1は、本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器の第1の実施例の構成を示す図である。本発明の光中継増幅器は、図1に示されるように、下り回線を伝送する信号光を光増幅する下り回線信号用光増幅器100と上り回線信号用光増幅器100'を備えている。上下各回線の光増幅器はそれぞれ同様の構成を有するので、下り回線信号用光増幅器100の構成について説明する。

20 【0031】光増幅器100は、光増幅を行う光増幅器1と光増幅器1の入力レベルを安定化させる光入力レベル安定化回路13とによって構成されている。光増幅器1は、光出力レベルがあらかじめ定められた一定レベルに維持されるように光出力制御を行う光出力制御回路（図示省略）を備えている。

30 【0032】光増幅器1から出力される光増幅された信号光（以下「増幅信号光（第1の増幅信号光）」という。）の光出力レベルは光出力制御回路により一定に制御されているので、光入力レベルを所定のレベルに制御すれば、例えば入力される波長多重信号光のうちある波長の信号光が断状態になってもこれを疑似信号光によって補償することによりもとの光増幅状態を維持することができる。また、波長多重信号光全体の光入力レベルが変化した場合にも、この変化分を補償するように疑似信号光を増減させることにより光増幅器1の利得を一定にし、利得の波長依存性の変化を防ぎ、各信号光間の光出力レベルを一定に保つことができるようになる。

40 【0033】ここで、本発明の光中継増幅器は、入力レベル安定化回路13により対向回線（上り回線）において対向回線の信号用光増幅器1'によって光増幅された信号光（以下「増幅信号光（第2の増幅信号光）」という。）の一部を取り出して、この分岐された信号光（以下これを「疑似信号光（ダミー信号光）」という。）を波長多重信号光に合波して自回線（下り回線）の光増幅器1に入力することによって光入力レベルを制御して安定化させることを特徴としている。

50 【0034】この機能を果たすため、本実施例の入力レベル安定化回路13は大きく分けて、入力された下り回線の波長多重信号光の入力レベルを検出する光入力レベル検出回路11と、この波長多重信号光に付加されるべき疑似信号光を供給する疑似信号光源と、光入力レベル検出回路11によって検出された光入力レベルに応じて



疑似信号光のレベルを制御する疑似信号光レベル制御部とによって構成されている。

【0035】光入力レベル検出回路11は、波長多重信号光の一部を分岐する光分岐器4-1と分岐された信号光のレベルを検出する受光器5を備えている。疑似信号光源は、対向回線、すなわち下り回線の場合には対向となる上り回線の増幅信号光の一部を分岐する光分岐器4-2と、光分岐器により分岐された分岐増幅信号光の中から上り回線の信号光成分を除去する光フィルタ7とにより構成されている。なお、光フィルタ7を備えているのは、下り回線の信号光と同じ波長の上り信号光が下り回線に合波されると雑音となるので、これを除去するためである。

【0036】光入力レベル安定化回路13は、上述した受光器5により検出された入力された波長多重信号光の光入力レベルに応じて合波される疑似信号光のレベルを設定するもので、光入力レベルに基づく制御信号を送出する減衰量制御回路8と可変光減衰器6と可変光減衰器6により設定された所定の光レベルを有する疑似信号光を波長多重信号光に合波する光合波器3によって構成されている。なお、上述したように、上り回線信号用光増幅器100'も同様の構成を備えている。

【0037】次に、本発明の光中継増幅器の第1の実施の形態についてその動作を説明するが、本発明の第1の実施の形態の動作を説明するにあたり、まず本発明の光中継増幅器が適用される波長多重光伝送装置について説明する。

【0038】図2は、本発明の第1の実施例の光中継増幅器が用いられた波長多重光伝送装置の構成を示す図である。基本的には、下り回線を伝送する波長多重信号光を送信する送信器（図示省略）と、上り回線から受けた波長多重信号光を受信する受信器（図示省略）とを備えた端局A（第1の端局）20-1とこれに対向して配置された端局B（第2の端局）20-2と、両端局の間に配置されたADMノードを備えた端局C20-3とによって構成されている。ここで、従来の技術の欄で説明した従来の光伝送装置では、端局間には通常的光増幅器、すなわち入力された波長多重信号光を光出力一定となるように制御して光増幅を行う光増幅器1からなる光中継増幅器が配置されていたが（図17参照）、本発明の光伝送装置では、この光中継増幅器に代えて、上述した本発明の光中継増幅器100-1～100-8が配置されている。光中継増幅器100-1等は、図1に示される光増幅器100（および100'）を備えている。

【0039】本実施例では、このような構成において、下り回線の信号波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ は上り回線の信号波長とは別の波長に設定されている。すなわち、あらかじめ端局A20-1から下り回線に送出される波長多重信号光と、端局B20-2から送出される波長多重信号光にそれぞれ含まれる各信号光の波長はそれぞれ異なる波長に

設定されている。説明をよりわかりやすくするため、ここでは装置全体の波長多重数を4、ADMノード数およびADMノードでの挿入・分離（Add・Drop）波長数を1とし、下り回線の信号波長 $\lambda_i$ を等間隔に4波選び、そのときの上り回線の各信号光の波長は、 $\lambda_i' = \lambda_i + \Delta\lambda$ （ $i = 1 \sim 4$ 、 $\Delta\lambda =$ 上り回線の波長間隔/2）に設定されていると想定する。なお、上下回線の波長多重信号光の関係は、上記のような関係だけに限られず、波長帯域が交わらない関係であってもよいし、全く同じ波長であっても適用しうる。

【0040】図2に示される構成において、いま区間Bに配置された光増幅器100-5の下り回線信号に着目して光増幅の動作について説明する。

【0041】まず伝送路に破断箇所がなく、光増幅器100-5に入力されるレベルが正常な場合を考える。このとき区間Bの下り回線（光増幅器100-5の下り回線入力）には、 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ （端局A20-1の信号光）と $\lambda_{4a}$ （ADMノードのAdd信号）が存在し、区間Bの上り回線には $\lambda_1' \sim \lambda_4'$ （端局B20-2の信号光）が存在する。光増幅器100-5に入力される信号光は下り回線、上り回線ともに4波となり、通常的光入力レベルが光増幅器100-5に入力される。

【0042】図1に示される減衰量制御回路8では、入力光レベル検出回路11で得られる入力レベルモニタの情報をもとに可変光減衰器6の減衰量を $\infty$ に設定し、光分岐器4-2で分岐された疑似信号光（上り回線の増幅波長多重信号光）が下り回線に合波されるのを阻止する。従って、伝送路に破断箇所が存在しない正常な場合には、本光増幅器100-5は従来の光増幅器1と同じ動作を行う。このときの状態を図4の（a）に示す。

【0043】次に、図2の区間Aの伝送路が、図3に示されるように、光増幅器100-2と光増幅器100-3の間で破断した場合について考える。このような事態が生じて、ADMノード-端局B間の伝送は、区間Aの破断とは関係なく正常に行われることが望ましい。光増幅器100-5の下り回線の入力は、端局Aの信号 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ が断となり、ADMノードより送られる $\lambda_{4a}$ のみとなる。一方、光増幅器100-5の上り回線入力について見た場合、破断箇所は区間Bよりも下流に位置するため、上り回線の入力は通常どおり $\lambda_1' \sim \lambda_4'$ （端局B20-2の信号光）の4波存在する。

【0044】下り回線につながれた減衰量制御回路8は、区間A破断による入力信号低下をすぐさま入力レベルモニタ11により検出する。同時に、減衰量制御回路8は、光増幅器1の入力光レベルが正常動作時（4波）のレベルと同じになるよう可変光減衰器6の減衰量を制御し（この場合は、減衰量を初期状態から低下させ）、光分岐器4-2によって分岐された上り回線の増幅波長多重信号光（疑似信号光）を光合波器3により下り回線の波長多重信号光に合波させる。ここで、上り回線の各

信号光の波長は、下り回線の各信号光の信号波長と  $\Delta\lambda$  だけシフトした波長であるから、下り回線の光増幅器 1 に入力される信号光の波長は図 4 (b) に示されるようにいずれも交わることなく、もとの光入力レベルが補償される。この結果、 $\lambda 4a$  の信号波長のみに着目した場合、図 4 (b) に示されるように光レベルの上昇を抑えることができる。

【0045】また、 $\lambda 4a$  のレベル上昇を抑えるために合波された上り回線から分岐して得た疑似信号光は、下り回線の信号光の波長と異なるため、光中継増幅器の出力端あるいは後段の光中継増幅器や端局の受信器において疑似信号光除去用の光フィルタ等を配置することにより、容易に除去可能であり、 $\lambda 4a$  の信号品質劣化にはほとんど影響しない。

【0046】以上のことを図 5 を参照して入出力レベルの面から説明する。図 5 は、図 3 に示される障害が生じる前後の光増幅器の光入出力レベルを示す図であって、(a) は光入力レベル、(b) は疑似信号光が合波された場合の光入力レベル、(c) は光出力レベル、(d) は増幅された疑似信号光の光出力レベルをそれぞれ示している。(a) は、時刻  $t=0$  において回線障害により波長多重信号光に断が生じ、疑似信号光が合波されないと想定した場合の光増幅器 1 への光入力レベルの変化を示している。時刻  $t=0$  において断が生じたことにより、それまで一定レベルを維持していた波長多重信号光は、回線断により回線障害が生じた箇所以降に配置される ADM ノード 20-3 において挿入された信号光  $\lambda 4a$  のみが出力され、全体の光入力レベルが低下することになる。

【0047】(b) は上り回線 (相手方回線) の波長多重信号光 ( $\lambda 1' \sim \lambda 4'$ ) の一部が分岐され、これを疑似信号光として合波された状態を示している。この疑似信号光の合波により、光入力レベルに着目してみると回線障害が発生する前の状態に復帰されている。これにより、(c) に示されるように、光増幅器 1 から出力される光のレベルも一定に維持される。(d) は、波長  $\lambda 4a$  の信号光に着目したもので、 $\lambda 4a$  の光出力レベルは本来光増幅されるべき状態が維持されている。

【0048】次に、図 6 を参照して、波長多重信号光全体の光入力レベルが変動した場合について説明する。このような変動は、伝送路の障害や端局の送信器の特性変動などに起因して生じうる。

【0049】図 6 は、本発明の第 1 の実施の形態において、光増幅器への光入力レベルが変動した場合の動作を示す図であって、(1) は通常動作時の光増幅状態を示す図、(2) は光入力レベルが低下したときの (a) は従来の光中継増幅器、(b) は本発明の光中継増幅器によるそれぞれの光増幅状態をそれぞれ示している。

【0050】(a) は通常動作時 (正常時) の光増幅器 1 における光増幅状態を示しており、所定の光入力レベ

ル Pin0 に対して所定の利得をもって光増幅され所定の光出力レベルに光増幅された波長多重信号光が出力される。ここでは、光中継増幅器は光出力一定制御がなされるので、所定の光出力レベル Pout が設定されており、この光出力レベルを得るための基準利得が設定されている。通常、この基準利得は波長多重信号光に含まれる各信号光の光出力レベルがほぼ均一になるように設定される。あるいは、光増幅器 1 に利得の波長依存性がある場合にも、利得等化器 (図示省略) により均一化されるときに利得に設定されている。このような基準利得となるための光入力レベルが Pin0 として算出される。

【0051】なお、上記光出力レベルは波長多重信号光に含まれる信号光数によって変化するので (信号光数にほぼ比例する)、所定の光出力レベルは例えば波長多重信号光に信号光数を与える情報を付加することにより、外部からあるべき所定の光出力レベルを各光中継増幅器に伝えることが可能である。

【0052】ところが、いま波長多重信号光全体の光入力レベルが低下 (Pin0 から Pin に低下) したとすると、光増幅器 1 から出力される波長多重信号光全体の光出力レベルは一定に保たれるように制御されるので、結果的に光増幅器 1 の利得が変動することになる。そうすると、通常光増幅器は利得自体の変化により利得の波長依存性も変化するので、各信号光に対する利得が異なって光増幅される。(a) は従来の光中継増幅器による場合で、各信号光間の光出力レベルに大きな差が生じてしまう。これに対して (b) に示される本発明の光中継増幅器においては、疑似信号光 ( $\lambda 1' \sim \lambda 4'$ ) が付加されて光入力レベルがもとの状態に維持されて光増幅されるので、各信号光間の光出力レベルにバラツキを生じるのを防ぐことができる。

【0053】次に、本発明の光中継増幅器の第 1 の実施の形態における光分岐器の構成について説明する。

【0054】図 7 は、本発明の光中継増幅器の第 1 の実施の形態における光分岐器の一実施例の構成を示す図である。上り回線用の光増幅器 1' から出力された波長多重信号光 (第 2 の波長多重信号光) は、伝送路に配置された光分岐器 4-2 によって一部が分岐される。この光分岐器 4-2 には、例えば誘電体多層膜光フィルタ 15 を用いたものを適用することができる。上述したように、上り回線の波長多重信号光に含まれる各信号光を満遍なく分岐するのであれば、波長に対する透過、反射特性が平坦なハーフミラー (但し、通常分岐比率は 10:1 以下) を用いればよい。なお、上り回線の波長多重信号光の一部を用いると、信号光自体の強度が高いので比較的広い範囲で下り回線の波長多重信号光の光入力レベルの補償が可能になる利点がある。但し、上下回線で信号光波長が同じ場合には適用は困難である。

【0055】これに対して、上り回線の信号光に含まれ

る自然放出光を用いるのであれば、増幅された波長多重信号光の波長帯域の光は透過させ、それ以外の波長帯域の光を反射する光フィルタを用いた光分岐器を用いればよい。なお、上下回線で信号光波長が同じ場合には本構成が有効であるものの、自然放出光レベルは小さいので大きな入力レベルの補償には向かない。この構成によれば、疑似信号光が分岐されるとともに上り回線の波長多重信号光から自然放出光が除去されるという利点も有することになる。

【0056】図8は、図7に示される光分岐器により自然放出光を疑似信号光に用いた場合の各部の信号光のスペクトラムと波長特性を示す図であって、(a)は増幅された上り回線（相手方回線）の波長多重信号光のスペクトラム、(b)は光分岐器18に用いられている誘電体多層膜光フィルタの波長特性、(c)は分岐された光のスペクトラム、(d)は光フィルタの波長透過特性、(e)は疑似信号光のスペクトラムをそれぞれ示している。

【0057】光分岐器4-2に用いられている光フィルタが(b)に示されるような波長多重信号光がある波長帯域で通過特性を有しそれ以外の領域で阻止域を有するとすると、通過波長帯域にある波長多重信号光はすべてこの光分岐器を通過して伝送路に送出されることになる。一方、阻止域にある波長の信号、すなわち自然放出光の大半は光分岐器4-2で分岐され、分岐された光は(c)に示されるようなスペクトラムを有する。(d)は図7において光分岐器4-2の分岐側に配置された光フィルタ7の波長透過特性を示しており、疑似信号光とすべき波長 $\lambda_d$ 近傍の光のみを透過させるバンドパスフィルタである。そうすると、光フィルタ7を通過した光は、最終的には(e)に示されるようなスペクトラムを有する疑似信号光となる。

【0058】図9は、上り回線の波長多重信号光から疑似信号光を分岐する他の実施例の構成を示している。図8に示される実施例では誘電体多層膜光フィルタが用いられていたが、ここでは、疑似信号光となる波長の光のみを反射させるファイバグレーティング17とその前段（光増幅器1）側に配置される光サーキュレータ16により構成されている。光増幅器1'から出力された上り回線の増幅された波長多重信号光は、光サーキュレータ16を伝送路に向けて通過する。さらに、波長多重信号光はそのままファイバグレーティング17を通過して伝送路に送出される。一方、疑似信号光たるべき波長 $\lambda_d$ の光はファイバグレーティング17において反射され、再び逆方向に光サーキュレータ16に入力され、図面上方の出力端から疑似信号光として出力される。

【0059】図10は、図9に示される光分岐器を用いた場合の各部の信号光のスペクトラムと波長特性を示す図であって、(a)は増幅された上り回線（相手方回線）の波長多重信号光のスペクトラム、(b)はファイ

バグレーティングの波長透過特性、(c)は疑似信号光のスペクトラムをそれぞれ示している。(b)はファイバグレーティングの波長透過特性で波長 $\lambda_d$ の光のみを反射させるので、(a)に示される光のうちから波長 $\lambda_d$ の光だけが取り出され(c参照)、これが疑似信号光となる。

【0060】次に、本発明の光中継増幅器の第2及び第3の実施の形態について説明する。基本構成は、図1に示される第1の実施の形態と同じであるが、光増幅器から出力される増幅された波長多重信号光に含まれる疑似信号光を除去する疑似信号光除去用光フィルタを備えている点で相違している。この疑似信号光除去フィルタは、図11に示されるように光増幅器1から出力された波長多重信号光が、上り回線の信号光を補償するための疑似信号光として分岐されるための光分岐器4-2の分岐側に配置してもよいし、図12に示されるように、光増幅器1の直後に配置してもよい。

【0061】前者の場合には、後段に配置される光中継増幅器において疑似信号光を改めて合波して光入力レベルを補償する必要がなくなるという点で優れている。なお、最終の受信端局における受光器の前段に疑似信号光除去フィルタを配置してもよい。一方、後者の場合、すなわち光増幅器の直後に疑似信号光除去フィルタを配置した場合には、より正確な光出力制御が可能になり、また当該光中継増幅器の後段に配置される光中継増幅器に疑似信号光が送出されることもない。

【0062】図13は、本発明の光中継増幅器の第4の実施の形態の構成を示す図で、図1に示される第1の実施の形態では光入力レベルの制御に可変光減衰器と下り回線の波長多重信号光の波長以外の波長の光を除去する光フィルタ7の組合せによる構成が適用されていたが、本実施の形態では上記組合せに代えて、上り回線（相手方回線）の波長多重信号光の各信号光の波長近傍で通過波長帯域を可変制御することができる光フィルタを用いている点で相違する。このような波長可変型の光フィルタ18には共振器長を微調可能なファブリ・ペロー型の光フィルタがある。このフィルタのフリースペクトルレンジ(FSR)を信号波長間隔に等しく設定した場合、共振器長を微調することにより、このフィルタの透過帯域を調整することができ、疑似信号光の透過量を図11のように調整することが可能となる。この結果、先に示した実施の形態と同様の機能をもたせることができるようになり、同様の効果を得ることができる。

【0063】以上説明してきた波長多重光伝送用光中継増幅装置と光伝送装置は、いずれも図2に示されるように一方に端局Aが、他方に端局Bが配置され、両者の間に光中継増幅器が配置される構成が示されてきたが、光伝送装置の形態もこれに限られない。例えば、図15に示されるように、センターノードと1又は2以上の信号光挿入分離ノードがリング状に接続され、ノード間に光

中継増幅器が配置された光伝送装置にも適用することができる。

【0064】なお、上記光増幅器は、エルビウムドープ光ファイバなどのような希土類元素が添加された光ファイバを増幅媒体とした光ファイバ増幅器であってもよいし、また半導体光増幅器であってもよい。また、波長多重される信号光数も、上下回線とも4に限られず、1または2以上のいずれの数も採りうるものであり、一方が1の信号光のみであり、他方が複数の信号光が波長多重された波長多重信号光であってもよい。

【0065】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器は、波長多重信号光のうちのいくつかの信号光レベルが何らかの原因で低下した場合でも、逆回線の分岐光をレベル調整し疑似信号光として上記波長多重信号光に合波するため、光増幅器1の入力レベルおよび出力レベルを一定に保つことができる。これにより、光増幅器の利得を常に一定に保つことができ、信号間利得偏差を変えないことなく、安定した光増幅が可能である。また、疑似信号光となる下り回線の波長多重信号光の波長を、上り回線の波長多重信号光の波長からずらすことにより、光フィルタ等で各回線の信号を分離することができ、コヒーレントクロストークによる信号劣化を引き起こさないという効果も奏する。また、疑似信号光源として対向する回線の信号を利用するため、疑似信号光として新たな光源（例えばLD）を用意する必要がない。この結果、他の信号光断およびレベル低下に影響されにくい安定したWDM伝送が可能となり、装置の信頼性を向上することができる。

【0066】また、光出力一定制御された光増幅器1の利得平坦度は、光増幅器1に入射されるレベルにより変化するという特性があるため、従来の光増幅器1では、入力レベル低下はそのまま波長平坦度の劣化を引き起こし、信号間レベル偏差を大きくするという問題もある。これに対して、本発明の光増幅器によれば、光増幅器の入力レベルを安定化することができるため、利得平坦度の変動を抑えることができ、その結果、信号間レベル偏差をについても安定化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器の第1の実施例の構成を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施例の波長多重光伝送用光中継増幅器が用いられた波長多重光伝送装置の構成を示す図である。

【図3】図2に示される本発明の波長多重光伝送装置において伝送路に障害が生じた様子を示す図である。

【図4】図3に示される障害が生じた場合の本発明の第1の実施例の光中継増幅器における光増幅の状態を示した図であって、(a)は通常動作時の(b)は一部の回線に障害が生じた場合の光増幅状態をそれぞれ示してい

る。

【図5】図3に示される障害が生じる前後の光増幅器の光入出力レベルを示す図であって、(a)は光入力レベル、(b)は疑似信号光が合波された場合の光入力レベル、(c)は光出力レベル、(d)は増幅された疑似信号光の光出力レベルをそれぞれ示している。

【図6】本発明の第1の実施の形態において、光増幅器への光入力レベルが変動した場合の動作を示す図であって、(1)は通常動作時の光増幅状態を示す図、(2)は光入力レベルが低下したときの(a)は従来の光中継増幅器、(b)は本発明の光中継増幅器によるそれぞれの光増幅状態をそれぞれ示している。

【図7】本発明の光中継増幅器の第1の実施の形態における光分岐器の一実施例の構成を示す図である。

【図8】図7に示される光分岐器を用いた場合の各部の信号光のスペクトラムと波長特性を示す図であって、

(a)は増幅された上り回線（相手方回線）の波長多重信号光のスペクトラム、(b)は光分岐器に用いられている多層膜フィルタの波長特性、(c)は分岐された光のスペクトラム、(d)は光フィルタの波長透過特性、(e)は疑似信号光のスペクトラムをそれぞれ示している。

【図9】本発明の光中継増幅器の第1の実施の形態における光分岐器の他の実施例の構成を示す図である。

【図10】図9に示される光分岐器を用いた場合の各部の信号光のスペクトラムと波長特性を示す図であって、

(a)は増幅された上り回線（相手方回線）の波長多重信号光のスペクトラム、(b)はファイバグレーティングの波長透過特性、(c)は疑似信号光のスペクトラムをそれぞれ示している。

【図11】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器の第2の実施例の構成を示す図である。

【図12】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器の第3の実施例の構成を示す図である。

【図13】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器の第4の実施例の構成を示す図である。

【図14】本発明の光中継増幅器の第4の実施の形態に用いられている光フィルタの通過波長帯域を変化させた状態を示す図である。

【図15】本発明の波長多重光伝送用光中継増幅器が用いられたリング構成の波長多重光伝送装置の構成を示す図である。

【図16】従来の波長多重光伝送装置の構成を示す図である。

【図17】図8に示される従来の波長多重光伝送装置において伝送路に障害が生じた様子を示す図である。

【図18】従来の波長多重光伝送装置に用いられている光中継増幅器における光増幅の状態を示す図である。

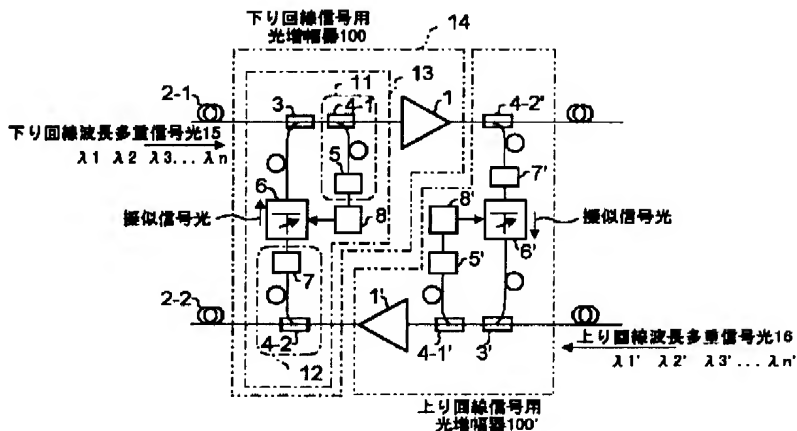
【図19】従来の波長多重光伝送装置に用いられている光中継増幅器における光増幅の状態を示す図である。

## 【符号の説明】

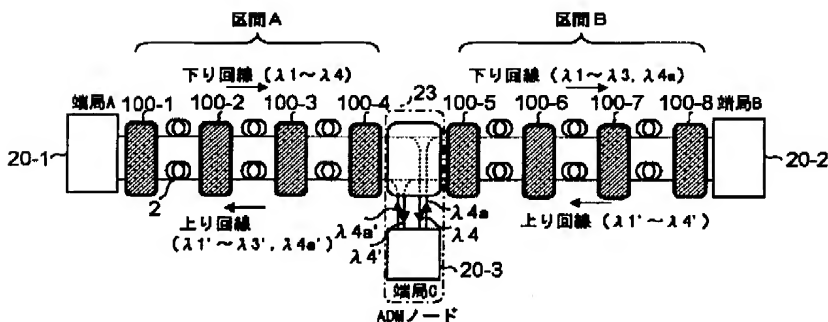
- 1 下り回線用光増幅器（第1の光増幅器）  
 2-1 下り回線用伝送路  
 2-2 上り回線用伝送路  
 3 光合波器（第1の疑似信号光合波器）  
 3' 光合波器（第2の疑似信号光合波器）  
 4-1 光分岐器（第1の入力信号光分岐器）  
 4-2 光分岐器（第2の増幅波長多重信号光分岐器）  
 4-1' 光分岐器（第1の入力信号光分岐器）  
 4-2' 光分岐器（第2の増幅波長多重信号光分岐器）  
 5 受光器（第1の受光器）  
 5' 受光器（第2の受光器）  
 6 可変光減衰器（第1の可変光減衰器）  
 6' 可変光減衰器（第2の可変光減衰器）  
 7 光フィルタ（第1の光フィルタ）  
 7' 光フィルタ（第2の光フィルタ）  
 8 減衰量制御回路（第1の減衰量制御回路）

- 8' 減衰量制御回路（第2の減衰量制御回路）  
 11 入力光レベル検出回路（第1の入力光レベル検出回路）  
 12 第2の疑似信号光発生部  
 13 光入力レベル安定化回路  
 14 下り回線用光増幅器  
 15 光分岐器  
 16 光サーキュレータ  
 17 グレーティングファイバ  
 18 波長可変型光フィルタ  
 19 疑似信号光除去フィルタ  
 20-1 端局A  
 20-2 端局B  
 20-3 端局C（ADMノード）  
 30-1 センターノード  
 30-2～30-4 ADMノード  
 100-1～100-8 光中継増幅器

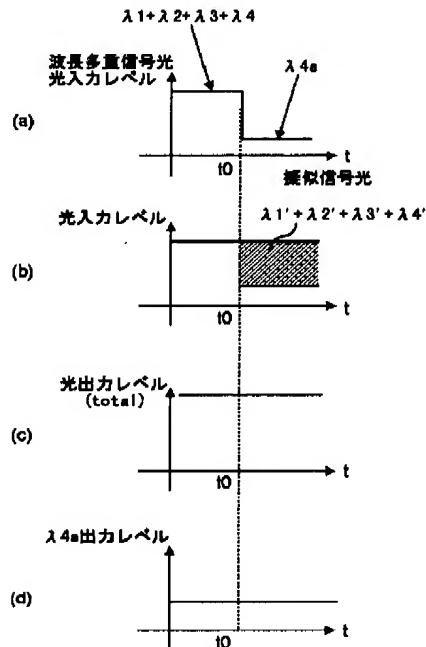
【図1】



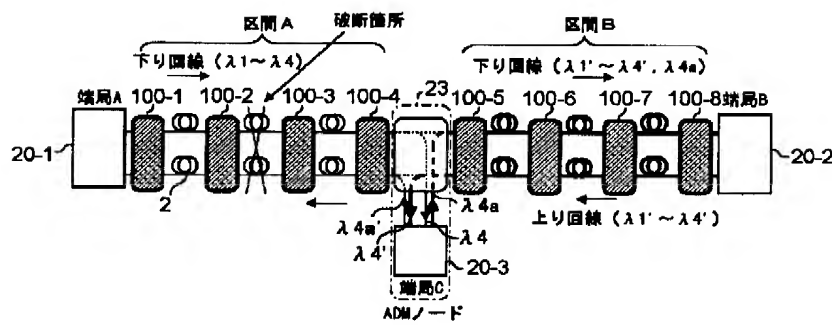
【図2】



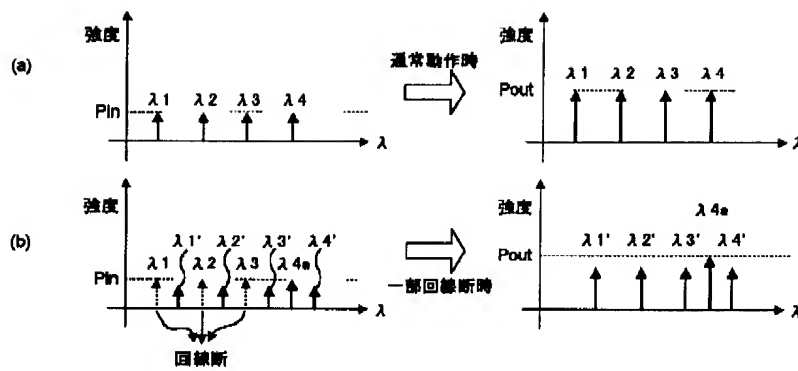
【図5】



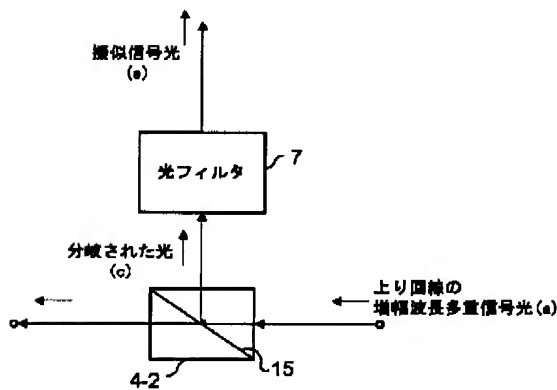
【図3】



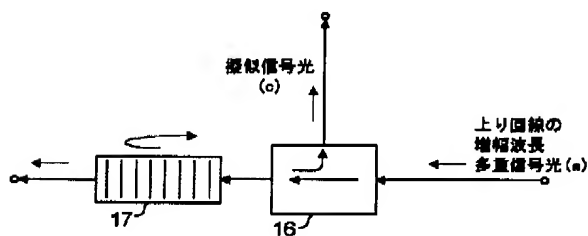
【図4】



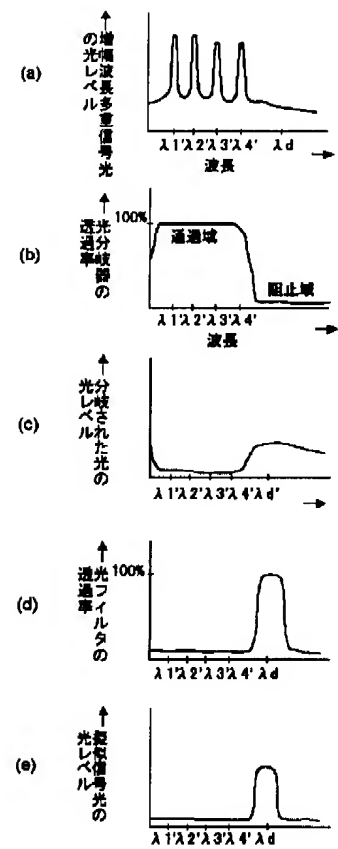
【図7】



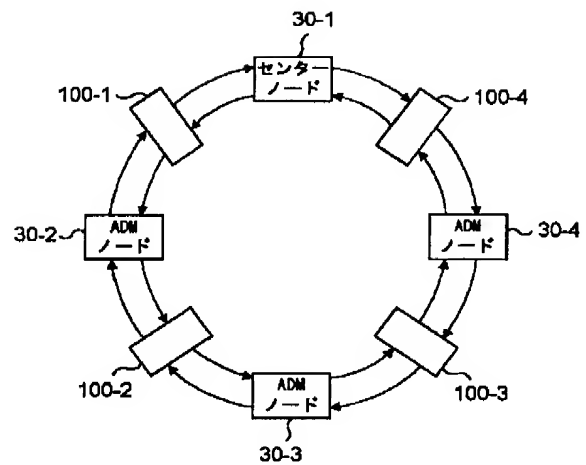
【図9】



【図8】

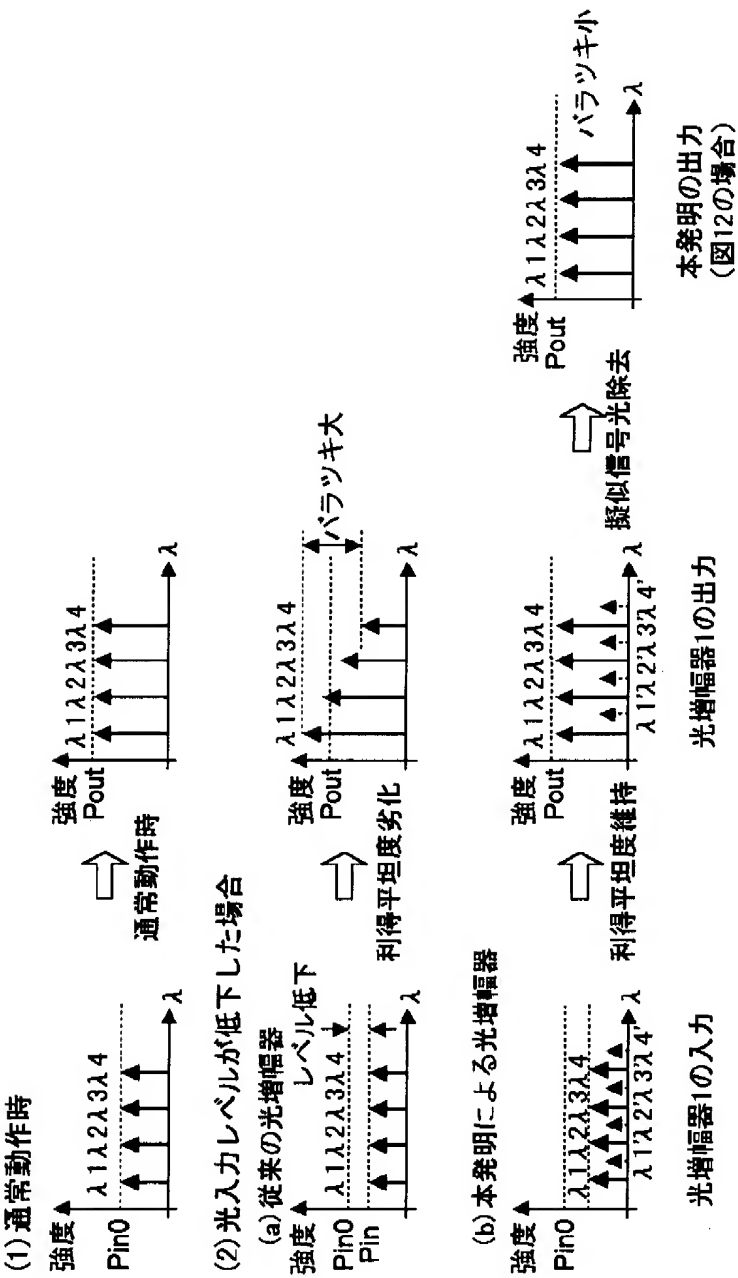


【図15】

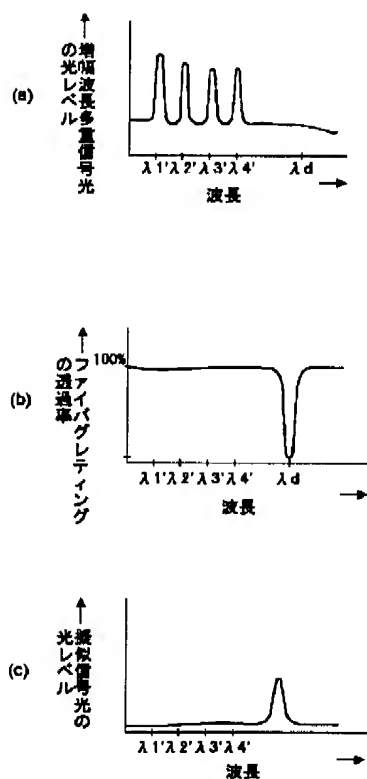




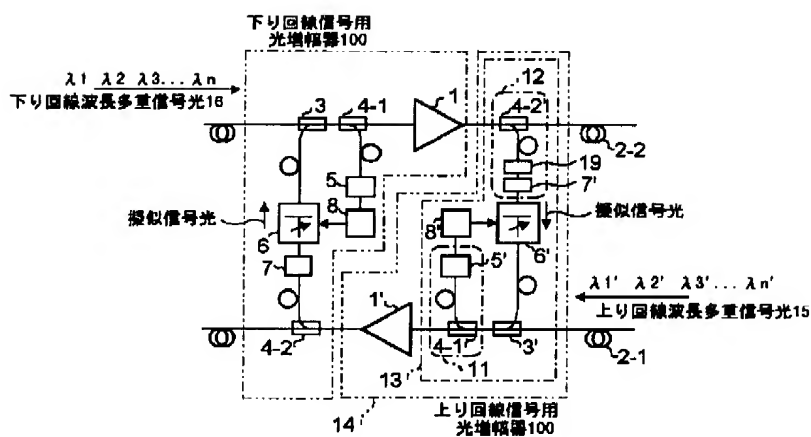
【図 6】



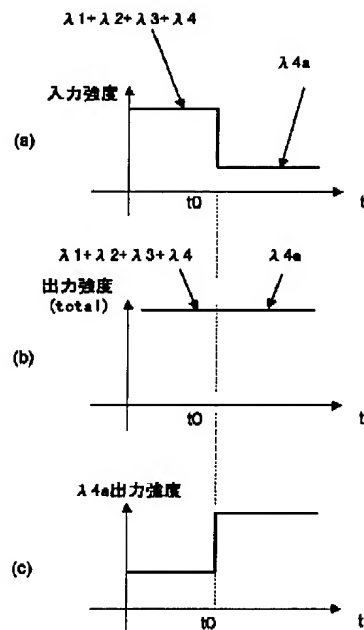
【図10】



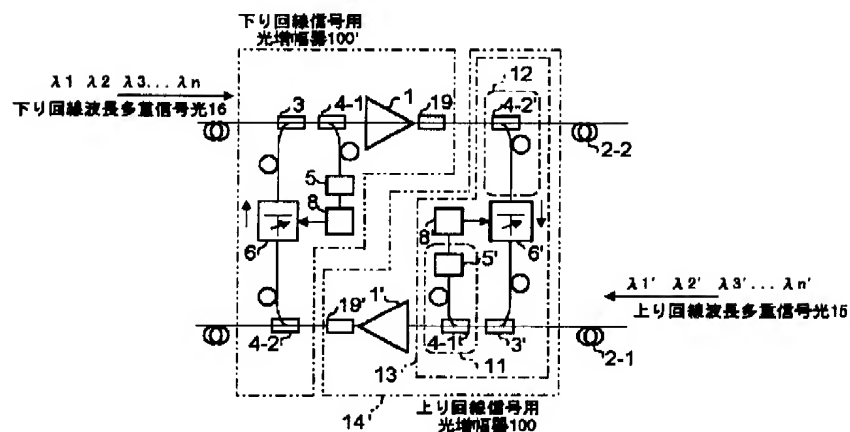
【図11】



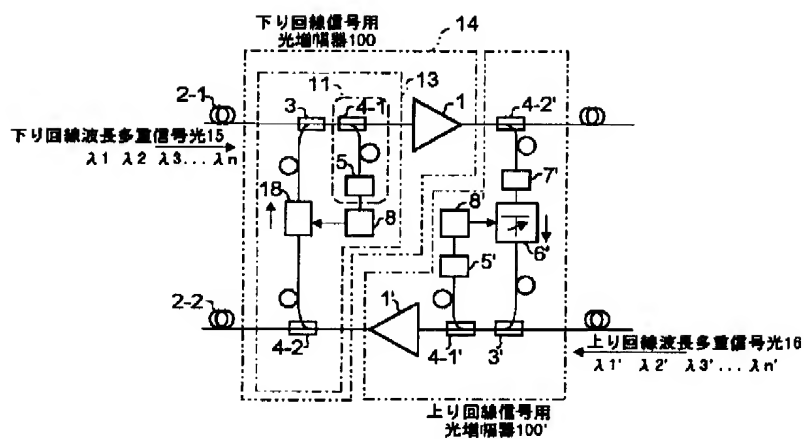
【図19】



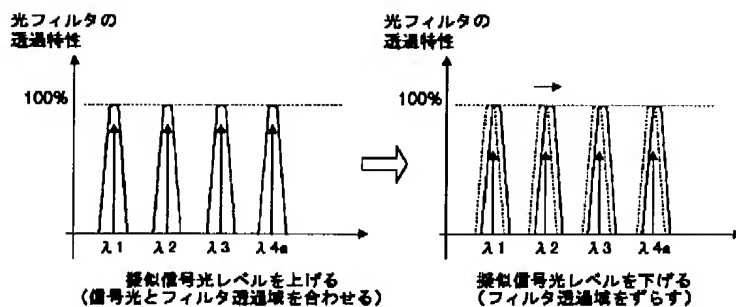
【図12】



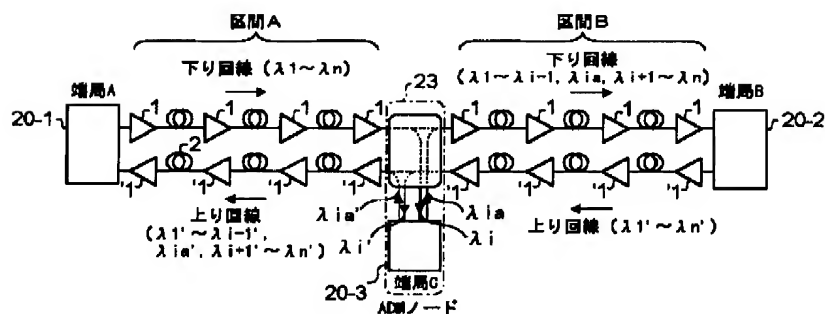
【図 13】



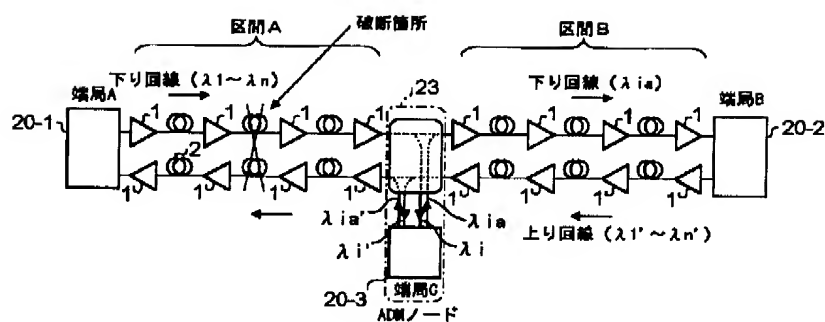
【図 14】



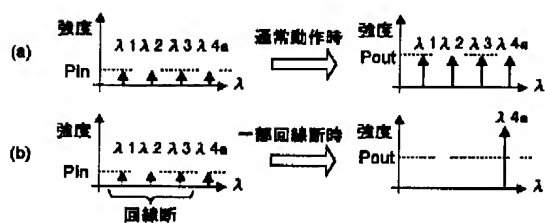
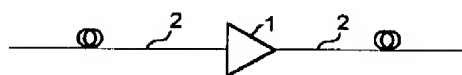
【図 16】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

H 0 4 B 10/02